

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

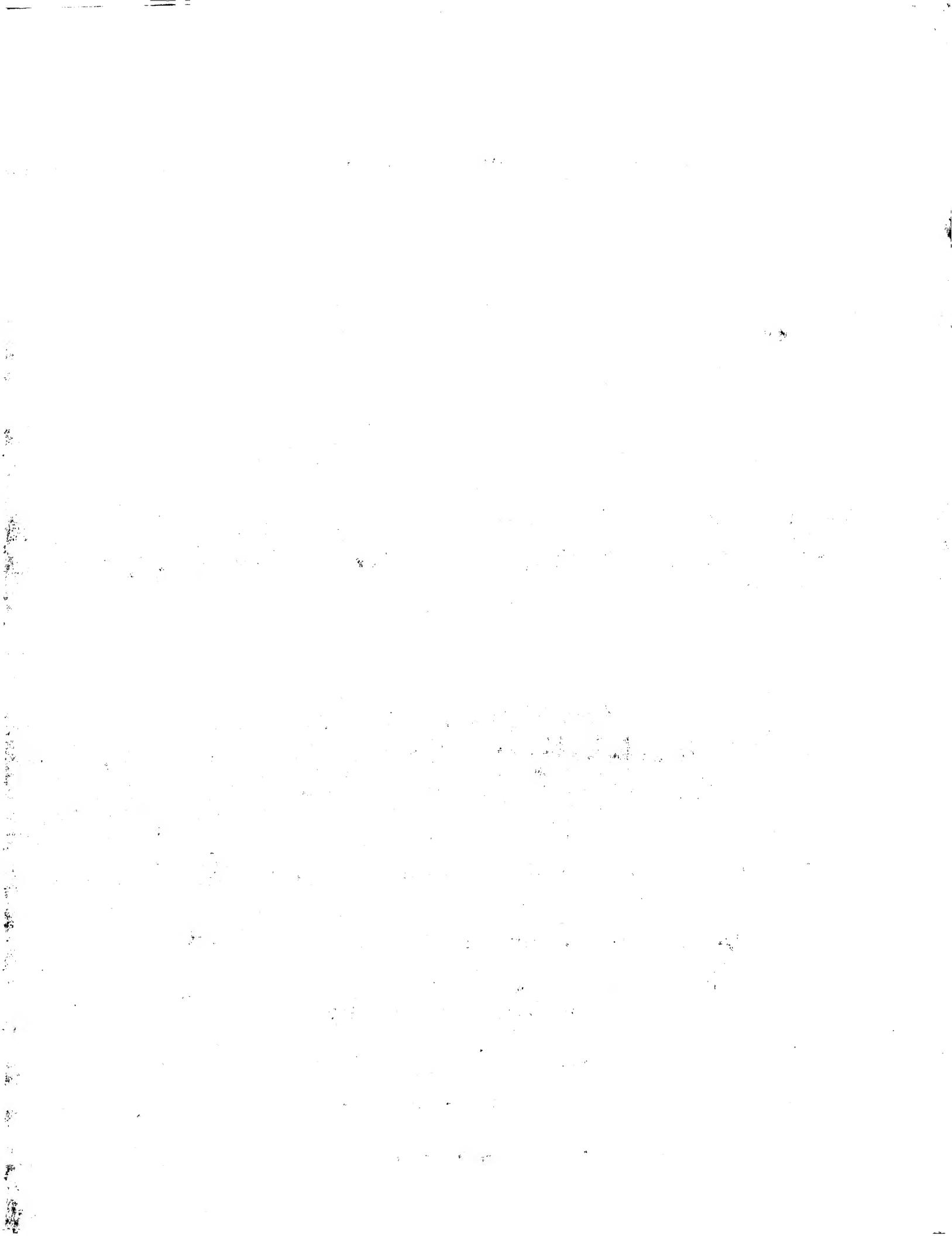
Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**



DE 00/1882
EJU



RECD 10 AUG 2000

WIPO

PCT

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 199 26 927.0
Anmeldetag: 14. Juni 1999
Anmelder/Inhaber: CEOS Corrected Electron Optical Systems GmbH,
Heidelberg, Neckar/DE
Bezeichnung: Elektrostatischer Korrektor zur Beseitigung des
Farbfehlers von Teilchenlinsen
IPC: H 01 J 37/153

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

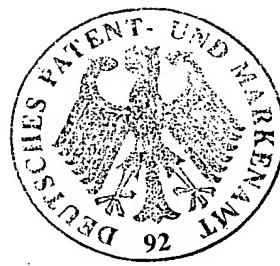
München, den 27. Juli 2000
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident
im Auftrag

Agurks

PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



Elektrostatischer Korrektor zur Beseitigung des Farbfehlers von Teilchenlinsen

5 Die Erfindung betrifft einen elektrostatischen Korrektor zur Beseitigung des Farbfehlers von Teilchenlinsen mit gerader optischer Achse und einem der Objektivlinse zuzuordnenden elektrostatischen Quadrupol.

10 Durch das Scherzer-Theorem (O. Scherzer, Zeitschrift für Physik 101, (1936) 593) ist bekannt, daß in optisch abbildenden Systemen für geladene Teilchen, unter denen vor allen Elektronen und Ionen zu verstehen sind, bei Verwendung statischer, raumladungsfreier und rotationssymmetrischer Feldern die chromatische Aberration (Farbfehler) und die sphärische Aberration (Öffnungsfehler) grundsätzlich nicht verschwinden. Da diese Fehler die Leistungsfähigkeit der abbildenden optischen Systeme und im speziellen das Auflösungsvermögen begrenzen, hat es nicht an Versuchen gefehlt, diese Bildfehler zu beseitigen. Am meisten Erfolg verspricht das Abgehen von rotationssymmetrischen Feldern, also die Verwendung unrunder Linsen in Form von Multipolen, also insbesondere Quadrupolen, Oktopolen usgl. Mit Hilfe eines derartigen aus elektrischen und magnetischen Multipolen aufgebauten Korrektor gelang es den beiden Geschäftsführern der Anmelderin die sphärische und chromatische Aberration in einem Niederspannungs raster elektronenmikroskop vollständig zu korrigieren (J. Zach, M. Haider Nucl. Instr. method. A363 (1995) 316), wobei ein

Auflösungsvermögen von 2 nm bei einer Elektronenenergie von 1kv nachgewiesen werden konnte.

5 Die Nachteile der elektromagnetischen Multipolkorrektoren sind darin zu sehen, daß die Magnetfelder aufgrund der Remanenz keine schnelle und präzise sowie reproduzierbare Justierung der magnetischen Felder erlauben. Eine Entmagnetisierung erfordert zudem einen erheblichen Aufwand darstellenden Ausbau der Spulenkerne. Über einen längeren Zeitraum stellt sich eine relativ große Drift der Magnetfelder ein. Schließlich lassen sich die in Ionenoptischen Geräten, wie z. B. der Lithographie, aufgrund der großen Ionenmassen notwendigen starken magnetischen Feldstärken wegen der Abhängigkeit der Fokusierung von der Masse nur schwer realisieren.

10 Korrektoren zur Beseitigung des Farbfehlers mit in beiden Schnitten rein elektrischen Feldern sind unbekannt.

15

20

25 Hiervon ausgehend hat sich die Erfindung die Schaffung eines Korrektors zur Beseitigung des Farbfehlers von Teilchenlinsen zur Aufgabe gemacht, der ausschließlich aus elektrischen Feldern, also unter Verzicht auf magnetische Felder, aufgebaut ist.

30 Gelöst wird diese Aufgabe erfindungsgemäß dadurch, daß in Stahlrichtung hinter den Quadrupol entlang der optischen Achse zwei Korrekturstücke angeordnet sind, jedes Korrekturstück drei elektrische Quadropolfelder mit überlagertem Rundlinsenfeld aufweist,

deren Quadrupolfelder jedoch relativ zueinander um einen Winkel von 90 Grad um die optische Achse gedreht sind und die Einstellung derart vorgenommen wird, daß das astigmatische Zwischenbild des einen Schnittes in einem Korrekturstück und das dazu senkrechte astigmatische Zwischenbild des anderen Schnittes im anderen Korrekturstück zu liegen kommt und ausgangsseitig schließlich ein weiterer elektrostatischer Quadrupol angeordnet ist.

5

10

15

20

25

30

Der Begriff Farbfehler meint im Sinne der Erfindung unter Anwendung der exakten Terminologie den axialen Farbfehler erster Ordnung ersten Grades. Hierbei beschreibt das Wort "axial", daß dieser Farbfehler nur bestimmt wird, durch die im Gegenstandspunkt von der optischen Achse ausgehenden Fundamentalbahnen, d.h. den Fundamentallösungen der Gaußschen Optik. Der Farbfehler ist also unabhängig von außeraxialen Bahnen. Die Ordnung beschreibt die Potenz, mit welcher die Anfangssteigung der Fundamentalbahn in die Fehlerabweichung eingeht; im Falle erster Ordnung besteht eine lineare Abhängigkeit. Der Begriff "ersten Grades" beschreibt, daß die Fehlerabweichung linear von der relativen Geschwindigkeitsabweichung der mittleren Geschwindigkeit der Teilchen abhängt. Im Falle monochromatischer Teilchen - d. h. Teilchen gleicher Geschwindigkeit und damit auch konstanter Wellenlänge - werden die relativen Abweichungen damit zu Null. In diesem Fall entsteht kein Farbfehler. In der Sprache der Optik wird der Farbfehler häufig auch als chromatische Aberration bezeichnet.

Der vorgeschlagene elektrostatische Korrektor besteht in seinen grundsätzlichen Aufbau aus vier in Richtung der geraden optischen Achse hintereinander angeordneten Elementen, nämlich - in Richtung des Strahlenganges ausgehend von dem Objektiv - zunächst aus einem Quadrupol und zwei sich hintereinander hieran anordnende Korrekturstücke und schließlich - ausgangsseitig - aus einem weiteren Quadrupol. Die Quadrupolfelder der beiden Korrekturstücke sind gegeneinander um einen Winkel von 90° um die optische Achse gedreht.

Der Strahlengang im Korrektur verläuft wie folgt: Der von der Mitte des Objektes ausgehende axiale Strahlengang wird als erstes durch die Objektivlinse umgelenkt und nach dem Eintritt in den Korrektor zunächst durch den elektrischen Quadrupol in beiden Schnitten (X-, Y-Schnitt) unterschiedlich abgelenkt. Das Teilchenbündel wird dadurch in einem Schnitt fokussiert (z. B. im X-Schnitt) und im anderen auseinandergezogen (Y-Schnitt), so daß ein astigmatisches Zwischenbild entsteht, das die optische Achse durchsetzt und zweckmäßigerweise in die Mitte des ersten Korrekturstücks gelegt wird. Dieses Korrekturstück beeinflußt deshalb nicht wesentlich den Bahnverlauf in dem Schnitt in dem das Zwischenbild liegt (X-Schnitt), weil die axiale Bahn nahe der optischen Achse verläuft und diese schneidet, wobei zwar positive Farbfehler entstehen, die aber aufgrund des geringen Achsenabstandes nur sehr klein ausfallen. Im dazu senkrechten Schnitt (Y-Schnitt) hingegen erfährt der Bahnverlauf durch die Quadrupolfelder des Korrekturstückes eine erhebliche Beeinflussung und einen negativen Beitrag zum

5 Farbfehler. Somit erfolgt eine Beeinflussung des Farbfehlers des einen Schnittes im ersten Korrekturstück und der des zweiten Schnittes im zweiten Korrekturstück in analoger Weise. In Abhängigkeit von den eingestellten Potentialen wird eine Beeinflussung des Farbfehlers und im idealen Fall eine Kompensation des Farbfehlers der Objektivlinse erfolgen, sodaß das gesamte aus Objektivlinse und Korrektor gebildete optische System von Farbfehlern 10 freie Abbildungseigenschaften aufweist. Der letzte Quadrupol dient dazu den Strahleengang wieder zur Rotationssymmetrie zusammenzusetzen.

15 Die Erzeugung des astigmatischen Zwischenbildes innerhalb des Korrekturstückes, d.h. der Nulldurchgang der entsprechenden paraxialen Bahn lässt sich durch entsprechende Wahl der Stärke des am Eingang des Korrektors befindlichen elektrischen Quadrupols erreichen. Durch Veränderung des Potentials der elektrischen Quadrupolfelder des Korrekturstückes 20 (Rundlinsenanteil als auch Quadrupolfeldstärke) zueinander, also des Gegenfeldes zwischen den Quadrupolfeldern, erfolgt die Beeinflussung und Einstellung des Farbfehlers.

25 Die entscheidenden Vorteile des elektrostatischen Korrektors bestehen in einer schnellen und präzisen Justierung und Einstellung der Felder, eine problemlose Handhabung mit reproduzierbaren Verhältnissen auch über einen längeren Zeitraum und auch in der möglichen Verwendung in ionenoptischen Geräten.

30 Als besonders bevorzugt gelten Ausgestaltungen, bei denen ein symmetrischer Aufbau und/oder symmetri-

scher Verlauf innerhalb eines Korrekturstückes zu
5 deren Mittelebene und/oder ein symmetrischer Aufbau
und/oder symmetrischer Verlauf der Felder der bei-
den Korrekturstücke, zu der dazwischen befindlichen
Mittelebene vorgesehen ist. Aufgrund des symmetri-
schen/antisymmetrischen Verlaufes der paraxialen
Bahnen innerhalb der Korrekturstücke heben sich
zahlreiche Fehlerintegrale auf oder werden doch zu-
mindest auf analytische Weise übersichtlich und
problemlos lösbar, was wesentlich zur Transparenz
10 und zum Verständnis des Verhaltens des Korrektors
in unterschiedlichen Situationen und Einstellungen
beiträgt. Die Symmetrie zur Mittelebene eines Kor-
rekturstückes sowohl im Aufbau als auch in der Ein-
15 stellung der elektrischen Felder hat zur Folge, daß
der Nulldurchgang der entsprechenden Paraxialbahn
exakt in die Mittelebene zu liegen kommt. Zudem
sind die beiden äußeren Quadrupolfelder des selben
Korrekturstückes dann identisch.
20 Aufgrund Aufbau und Symmetrie der Felder der beiden
Korrekturstücke unter Beibehaltung der relativen
Verdrehung gegeneinander um 90 Grad erhält man in
beiden Schnitten einen gleichen Bahnverlauf, d.h.
25 die im ersten Korrekturstück vorgenommene Korrektur
des einen Schnittes erfolgt im anderen Schnitt im
zweiten Korrekturstück.
Einfache analytische Lösbarkeit und aufgrund der
Übersichtlichkeit in einem daraus resultierenden
30 Verständnis des Verhaltens des Korrektors sind die
hieraus resultierenden Vorzüge. Es vereinfachen
sich nicht nur die Justierung sondern die Handha-
bung generell; die Möglichkeit der Einstellung we-

niger Potentiale trägt ebenfalls zur Erleichterung bei.

Zur Einstellung des Korrektors:

5 Grundsätzlich besteht die Möglichkeit durch Beeinflussung des Farbfehlers eine in weiten Grenzen beliebige Einstellung des Farbfehlers des aus Objektivlinse und Korrektor bestehenden Gesamtsystems zu erreichen. Häufig besteht das erklärte Ziel
10 darin, den Gesamtfehler des optischen Systems zu Null zu machen, d.h. durch den Korrektor einen negativen Farbfehleranteil zu erzeugen, der den sich aus Objektivlinse und den einzelnen Korrekturelementen erzeugten weiteren positiven Farbfehler zu
15 Null kompensiert. Bei den vorbeschriebenen symmetrischen Verhältnissen stehen zur Einstellung des Korrekturstücks nur zwei Parameter zur Verfügung, nämlich das Verhältnis des äußeren und mittleren Rundlinsenfeldes sowie die Stärke des Quadrupolfeldes.

20
25 Die Beseitigung des Farbfehlers geschieht in einem iterativen Prozeß, der im Falle des vorbeschriebenen symmetrischen Aufbaus ebenfalls besonders übersichtlich wird und im folgenden kurz geschildert werden soll:

Bei konstantem Verhältnis der beiden Rundlinsenpotentiale des Korrekturstückes wird die Quadrupolstärke verändert und hierbei der Farbfehlerkoeffizient gemessen. Sobald der Farbfehler seinen Minimalwert annimmt, wird das Verhältnis des Rundlinsenfeldes ebenfalls verändert mit dem Ziel der weiteren Minimierung des Farbfehlers. Durch mehrere ite-

5 rative Schritte in der vorbeschriebenen Weise läßt sich der Farbfehler dann vollständig beseitigen. Mathematische Überlegungen zeigen, daß eine vollständige Korrektur des Farbfehlers nur für bestimme Bereiche der Rundlinsenpotentiale des Korrekturstückes sowie der Quadrupolfeldstärken möglich sein wird.

10 15 20 25 30

Wie eingangs erwähnt, wird die Leistungsfähigkeit elektronenoptischer Abbildungssystem durch Farbfehler (chromatische Aberration) und Öffnungsfehler (sphärische Aberration) begrenzt. Die Aufgabe des bisher beschriebenen Korrektors besteht in der Beseitigung des axialen Farbfehlers erster Ordnung ersten Grades. In zahlreichen Anwendungsfällen ist man bestrebt, zusätzlich die sphärische Aberration genauer den axialen Öffnungsfehler dritter Ordnung zu beseitigen. Hierzu werden Oktopolfelder, also vierzählige Felder den Quadrupolfeldern überlagert. Bei dem als besondere Ausgestaltung beschriebenen symmetrischen Aufbau überlagert das Oktopolfeld das mittlere Quadrupolfeld des Korrekturstückes. Durch die Wahl und Einstellung der Stärke des Oktopolfeldes erfolgt eine Einstellung und ggf. Kompensation des axialen Öffnungsfehlers dritter Ordnung völlig entkoppelt von der Einstellung der der Beseitigung des Farbfehlers dienenden Quadrupolfelder.

Für die bauliche Realisierung ist es möglich, in einem einzigen Multipolelement, Quadrupol als auch Oktopolfelder zu erzeugen.

5 Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung lassen sich dem nachfolgenden Beschreibungsteil entnehmen, in dem anhand der Zeichnung
10 Aufbau und Funktion des erfindungsgemäß vorgeschlagenen elektrostatischen Korrektors entnehmbar sind. Die paraxialen Bahnen α , β gehen vom Objekt (1) aus und werden durch die mit einem Farbfehler behaftete Objektivlinse (2) abgelenkt. Der Korrektor (3) besteht in seinem grundsätzlichen Aufbau aus einem der Objektivlinse (4) zugewandten Quadrupol (4), einem sich in Ausbreitungsrichtung des Strahlenganges anschließenden ersten Korrekturstück (5) sowie einem im Abstand hierzu angeordneten weiteren Korrekturstück (6). Wie aus der Zeichnung erkennbar, bewirkt der Quadrupol (4) eine Aufspaltung in der in unterschiedlichen Schnitten verlaufenden axialen Bahnen α , β in unterschiedliche Richtungen, nämlich zum einen in Richtung auf optische Achse (Z) und im anderen Schnitt senkrecht hierzu. Das Korrekturstück (5) besteht aus drei Quadrupolfeldern (5a, 5b, 5c) die symmetrisch sind, d.h. die beiden äußeren Quadrupolfelder (5a, 5c) sind in ihrer Stärke gleich und liegen symmetrisch zum mittleren Quadrupolfeld (5b). Zur Herstellung eines symmetrischen Strahlenganges ist ausgangsseitig ein weiterer Quadrupol (7) angeordnet.

15 20 25

30 Der im Hinblick auf die Mittelebene (Z_M) symmetrische Aufbau der Korrekturstücke (5, 6) die lediglich relativ gegeneinander um die optische Achse (z) um 90 Grad gedreht sind, ergibt gleichen Bahnverlauf in der um 90 Grad gedrehten Schnittebene.

Das eine Korrekturstück (5) bewirkt die Beeinflus-
sung und Beseitigung des Farbfehlers in derjenigen
Schnittebene, in der die α -Bahn verläuft. Das an-
dere Korrekturstück (6) wirkt auf die im anderen
Schnitt verlaufende β -Bahn ein, sodaß jedes der
Korrekturstücke (5, 6) in einem der beiden Schnitte
die Beeinflussung oder gar die Beseitigung des
Farbfehlers vornehmen. Sämtliche Quadrupol- und
Rundlinsenfelder sind elektrostatischer Natur.

5

10

15

20

Nicht eingezeichnet ist, daß durch Überlagerung von
Oktopolfeldern vornehmlich im Bereich der astigma-
tischen Zwischenbilder eine Korrektur der sphäri-
schen Aberration (axialer Öffnungsfehler 3. Ord-
nung) vorgenommen werden kann. Eine wesentliche
Steigerung der Leistungsfähigkeit der Teilchen op-
tischer Abbildungssysteme lässt sich durch die Be-
seitigung des Farbfehlers und ggf. noch des Öff-
nungsfehlers erreichen.

P A T E N T A N S P R Ü C H E

5 1. Elektrostatischer Korrektor zur Beseitigung des Farbfehlers von Teilchenlinsen mit gerader optischer Achse und einem der Objektivlinse zuzuordnenden elektrostatischen Quadrupol, dadurch gekennzeichnet, daß

10 - in Stahlrichtung hinter den Quadrupol entlang der optischen Achse zwei Korrekturstücke angeordnet sind,

15 - jedes Korrekturstück drei elektrische Quadrupolfelder mit überlagertem Rundlinsenfeld aufweist,

20 - deren Quadrupolfelder jedoch relativ zueinander um einen Winkel von 90 Grad um die optische Achse gedreht sind und

25 - die Einstellung derart vorgenommen wird, daß das astigmatische Zwischenbild des einen Schnittes in einem Korrekturstück und das dazu senkrechte astigmatische Zwischenbild des anderen Schnittes im anderen Korrekturstück zu liegen kommt und ausgangsseitig schließlich ein weiterer elektrostatischer Quadrupol angeordnet ist.

30 2. Korrektor nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen symmetrischen Aufbau des Korrekturstücks

und/oder einen symmetrischen Verlauf der Felder eines Korrekturstückes zu deren Mittelebenen.

5 3. Korrektor nach Anspruch 1 oder 2, **gekennzeichnet durch einen symmetrischen Aufbau des Korrektors und/oder einen symmetrischen Verlauf der Felder zu der durch die beiden Korrekturstücke definierten Mittelebene.**

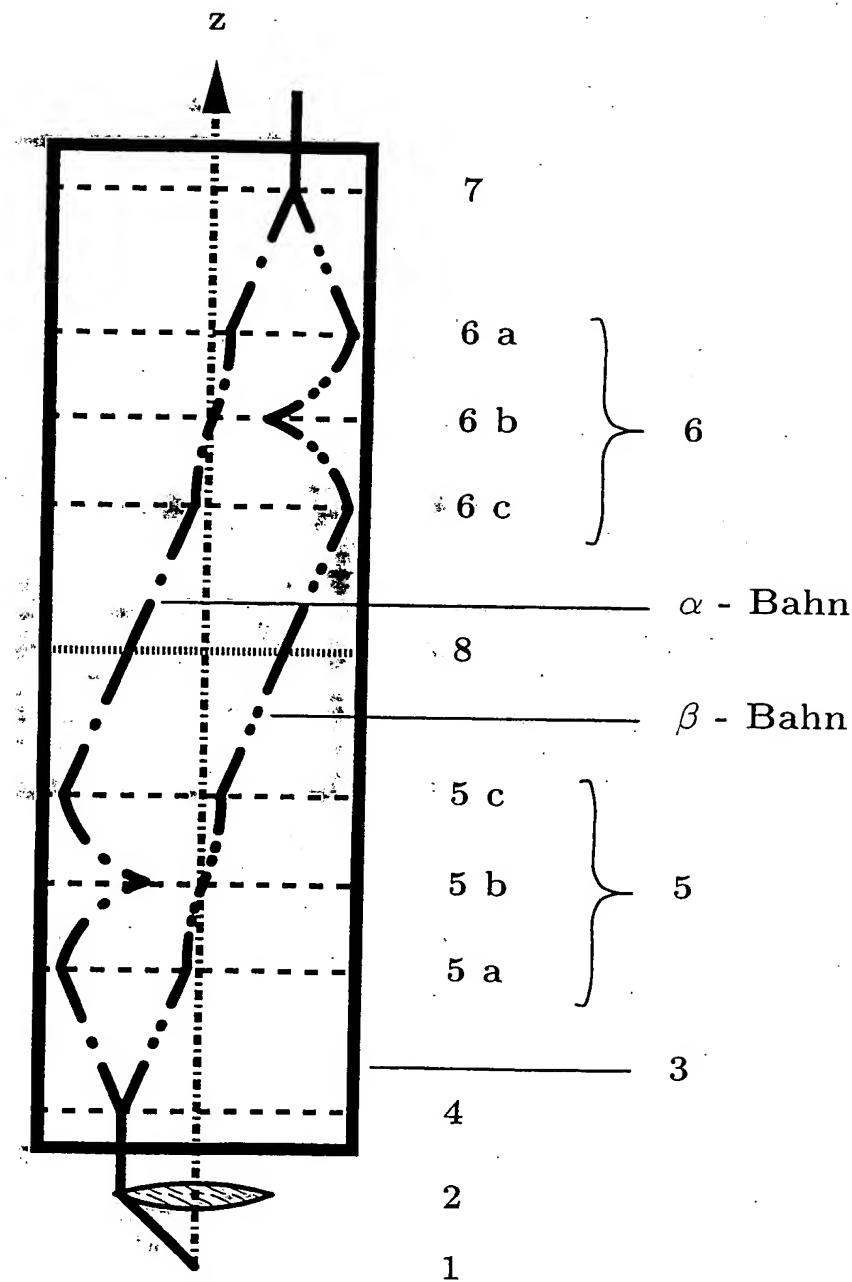
10

15 4. Korrektor nach Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß den Quadrupolfeldern der Korrekturstücke mindestens ein Oktopolfeld überlagert ist.**

20

25 5. Korrektor nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, daß die Oktopolfelder im Bereich der jeweili- gen astigmatischen Zwischenbilder angeordnet sind.**

6. Korrektor nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, daß dasselbe Multipolelement sowohl ein Quadrupol- als auch ein Oktopolfeld erzeugt.**



Z U S A M M E N F A S S U N G

5

**Elektrostatischer Korrektor zur Beseitigung des
Farbfehlers von Teilchenlinsen**

10

15

20

25

30

Die Erfindung betrifft ein Elektrostatischer Korrektor zur Beseitigung des Farbfehlers von Teilchenlinsen mit gerader optischer Achse und einem der Objektivlinse zuzuordnenden elektrostatischen Quadrupol, wobei in Stahlrichtung hinter den Quadrupol entlang der optischen Achse zwei Korrekturstücke angeordnet sind, jedes Korrekturstück drei elektrische Quadrupolfelder mit überlagertem Rundlinsenfeld aufweist, deren Quadrupolfelder jedoch relativ zueinander um einen Winkel von 90 Grad um die optische Achse gedreht sind und die Einstellung derart vorgenommen wird, daß das astigmatische Zwischenbild des einen Schnittes in einem Korrekturstück und das dazu senkrechte astigmatische Zwischenbild des anderen Schnittes im anderen Korrekturstück zu liegen kommt und ausgangsseitig schließlich ein weiterer elektrostatischer Quadrupol angeordnet ist.

